

Deficiencia de zinc

en los cultivos y correctores de carencia del micronutriente

Concentraciones críticas del micronutriente e interpretación de análisis de suelo y planta

Una gran cantidad de cultivos están afectados por la deficiencia de zinc, siendo algunos de ellos los siguientes: cereales, cultivos forrajeros, leguminosas, arbustos, frutales, algodón y tabaco. Debido a esta deficiencia, pueden tener lugar pérdidas de un 30% en la producción de cereales de grano como el maíz, trigo y arroz, sin la aparición de síntomas visibles de estrés en la planta. Las deficiencias más acusadas, manifestadas con síntomas en las hojas, pueden provocar mayores pérdidas en los cultivos, e incluso pueden llevar a la pérdida total de los mismos.

P. Almendros, M. I. Rico, L. M. López-Valdivia y J. M. Álvarez.

Dpto. Química y Análisis Agrícola. ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

El zinc (Zn) es un elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas, animales y humanos, que lo precisan en pequeñas cantidades. Por ello, se le denomina elemento traza esencial, microelemento o micronutriente.

En situaciones en las que existen cantidades óptimas de los nutrientes N, P y K, y las necesidades de agua son satisfactorias para las plantas, un cultivo no alcanzará ni el máximo rendimiento ni la calidad óptima si el suministro de zinc es inadecuado.

Importancia del zinc y sensibilidad de los cultivos

La deficiencia de zinc es el más extendido de todos los problemas de deficiencia de micronutrientes en los cultivos. Provoca pérdida de rendimiento y da-

ños en los productos, disminuyendo la calidad de los mismos (Alloway, 2007). Frecuentemente los daños en los cultivos debidos a las deficiencias de zinc se atribuyen a otras causas, como sequedad o escasez de N o P.

El ganado y las personas también requieren un suministro adecuado de zinc, pero alrededor de un tercio de la población humana del mundo ($> 2 \cdot 10^9$) se encuentra en riesgo de deficiencia de zinc.

La Organización Mundial de la Salud atribuye 800.000 muertes en el mundo cada año a esta ausencia de zinc y señala que la carencia está en gran parte relacionada con deficiencias en la ingesta o absorción del zinc de la dieta (IZA, 2007).

En la planta, el zinc tiene importancia en la fisiología, el metabolismo y la reproducción: actúa como regulador de un gran número de enzimas, ejerce un papel fisiológico en la estructura

y función de las membranas biológicas, tiene gran importancia en la fotosíntesis y actúa sobre enzimas involucradas en el metabolismo de la planta, regulación del crecimiento y en la reproducción.

Todos los cultivos son susceptibles a la deficiencia de zinc, pero las especies presentan diferencias considerables en su tolerancia a niveles bajos de suministro de micronutriente. Como se muestra en el **cuadro I**, los cultivos tienen diferentes respuestas a la fertilización de zinc en suelos deficientes (Loué, 1988; Martens and Westermann, 1991).

Por otra parte, todas las especies de cultivos muestran diferencias entre cultivares en función de la tolerancia a los suelos con bajos contenidos de zinc. Los cultivos más eficientes son aquellos que pueden utilizar este micronutriente más eficientemente que el resto.

Figura 1.

FACTORES QUE AFECTAN A LA DISPONIBILIDAD Y LA INHIBICIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL ZINC EN LA PLANTA.

Factores que afectan positivamente a la disponibilidad del zinc para la planta

Variedad tolerante



- * Alto contenido en Zn total
- * pH ácido-neutro
- * Aplicaciones de abonos de origen animal

Factores que inhiben la disponibilidad del zinc para la planta

Variedad no tolerante



- * Bajo contenido en Zn total
- * Alto pH
- * Altas cantidades de fósforo
- * Alto contenido en sales

Cuadro I.

Sensibilidad relativa a la deficiencia de zinc en diferentes cultivos.

Alta	Media	Baja
Judía	Cebada	Alfalfa
Cítricos	Lechuga	Zanahoria
Lino	Patata	Avena
Manzano	Soja	Guisante
Melocotonero	Remolacha y remolacha de mesa	Centeno
Uva	Tomate	Trigo
Cebolla *	Cebolla *	Gramíneas
Maíz y maíz dulce	Césped *	Césped *
Sorgo	Trébol *	Trébol *
Arroz *	Arroz *	Espárrago
Algodón *	Algodón *	
Ricino	Peral	
	Cerezo	

* Dependiendo de las condiciones del cultivo y variedades, la respuesta de ciertos cultivos pueden variar: algodón, cebolla y arroz, sensibilidad de alta a media; césped y trébol, sensibilidad de media a baja.

Suelos deficientes en zinc

Aunque los factores del genotipo son importantes para determinar la tolerancia o susceptibilidad de un cultivar a la deficiencia de zinc, es el factor suelo el responsable del suministro de zinc disponible para la planta.

En general, los suelos que tienen asociados problemas de deficiencia de zinc tienen una baja cantidad de zinc biodisponible para la planta, que en muchos casos coincide con una cantidad de micronutriente total baja (figura 1). La deficiencia se debe fundamentalmente a una o varias de las características siguientes:

- Suelos con un pH superior a 7,4 (pueden existir deficiencias en suelos con pH superior a 6,5). En estos casos el zinc se encuentra en formas no disponibles para la planta.
- Altos contenidos de carbonato cálcico en la parte superficial del suelo (suelos calcáreos), o en zonas más profundas que, debido al movimiento a que se ha visto sometido el suelo o a la erosión, pueden ser expuestas en la parte superficial.
- Textura gruesa (suelos arenosos) con bajo contenido en materia orgánica.
- Suelos anegados o con un alto contenido de humedad.

- Gran cantidad de fósforo en el suelo.
- Aplicaciones de turba o abonos orgánicos en suelos con bajos contenidos en zinc.
- Aplicaciones en el suelo o en el agua de irrigación de grandes concentraciones de magnesio y/o bicarbonato.
- Material parental altamente degradado o suelos ácidos poco desarrollados.

La carencia de zinc está asociada a grandes extensiones de

LA DEFICIENCIA DE ZINC ES EL MÁS EXTENDIDO DE TODOS LOS PROBLEMAS DE DEFICIENCIA DE MICRONUTRIENTES EN LOS CULTIVOS.

Provoca pérdida de rendimiento y daños en los productos, disminuyendo la calidad de los mismos (Alloway, 2007). Frecuentemente los daños en los cultivos debidos a las deficiencias de zinc se atribuyen a otras causas, como sequedad o escasez de N o P

suelos y a menudo éstas se localizan en regiones áridas y semiáridas. Un estudio realizado por la FAO muestra que es la mayor deficiencia de micronutrientes y que afecta a grandes extensiones de suelos, particularmente en Asia, África, Oriente Medio, Australia y Estados Unidos, aunque también se dan en otros lugares. En la fi-

gura 2 se indican hasta un total de 49 países en los cuales está constatada la existencia de este problema (Alloway, 2004).

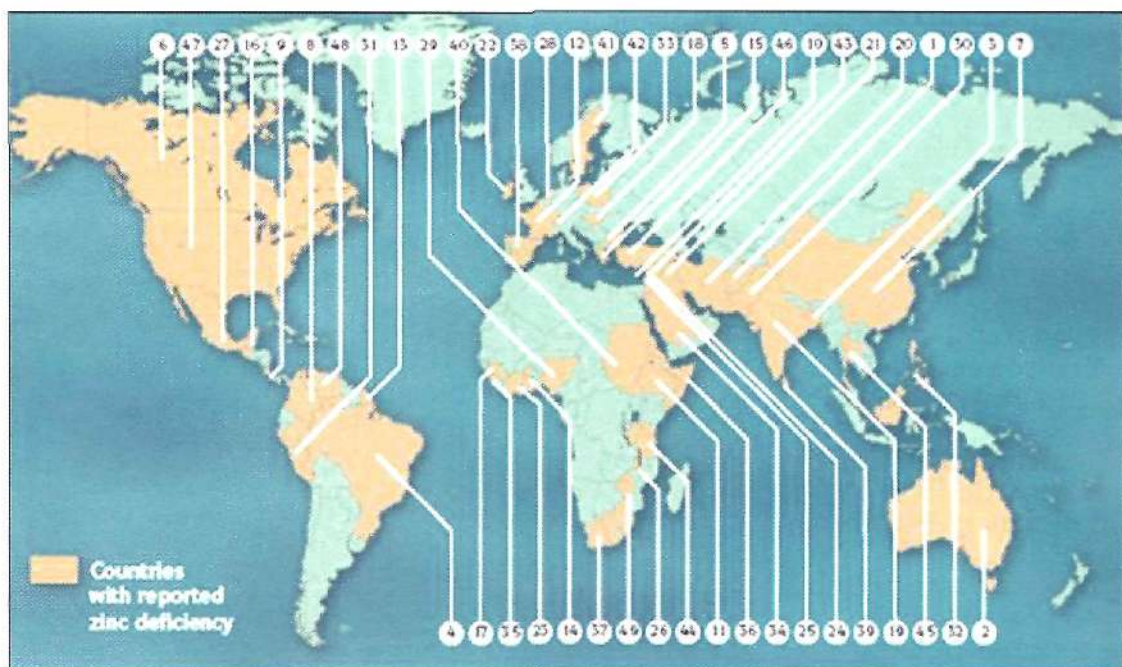
En áreas en las que no existen antecedentes de deficiencia de zinc, los síntomas pueden, y suelen, estar confundidos con los de otros micronutrientes, como el hierro, cobre o manganeso, por ello es necesario realizar un análisis de suelo y de la planta que identifiquen el micronutriente deficiente.

Concentraciones críticas de micronutriente en análisis de suelo

La manera más fiable y aplicada para evaluar el zinc disponible para la planta es el análisis de pequeñas muestras representativas del suelo. Los análisis se basan en la extracción del zinc del suelo y su medida en el extracto. Algunos de los reactivos más utilizados para extraer del suelo la fase o forma de zinc llamada disponible o biodisponible, se encuentran en el cuadro II, siendo el más empleado el reactivo DTPA-TEA. La interpretación conjunta de los análisis de suelo, así como los realizados en las plan-

Figura 2.

PAÍSES CUYOS SUELOS PRESENTAN DEFICIENCIA DE ZINC.



Cuadro II.

Reactivos utilizados para el análisis del zinc disponible en los suelos. Cultivos y concentraciones críticas expresadas en mg Zn/kg suelo seco.

Reactivos utilizados	Nombre Método	Cultivo	Concentración crítica
Ácido dietilentriaminopentacético (DTPA), trietanolamina y cloruro de calcio (5 mM DTPA + 0,1 M TEA + 0,01 M CaCl_2 , pH 7,3)	DTPA (DTPA-TEA)	Todos los cultivos Maíz Trigo Arroz Trébol subterráneo	0,1-2,0 0,60 0,65 0,5-2,0 0,13
Ácido clorhídrico (0,1 M HCl)	HCl	Todos los cultivos Arroz	1,0-5,0 2,0
Ácido clorhídrico con ácido sulfúrico (0,05 M HCl + 0,0125 H_2SO_4)	MEHLICH 1	Arroz	0,5-3,0
Ácido acético, fluoruro de amonio, ácido nítrico, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y nitrato de amonio (0,2 M CH_3COOH + 0,25 M NH_4F + 0,013 M HNO_3 + 1 mM EDTA)	MEHLICH 3	Todos los cultivos (suelos calizos)	1,8
DTPA y bicarbonato de amonio (5 mM DTPA + 1 M NH_4NO_3 , pH 7,6)	DTPA-AB	Todos los cultivos	0,5-1,2

Recopilado de: Sims and Johnson, 1991; Brennan et al, 1993; Srivastava and Gupta, 1996; Colorado State University, 2001; Doberman and Fairhurst, 2000; Fagiera et al, 2003.

tas, determinan las respuestas a los fertilizantes de zinc en distintos tipos de cultivos y suelos. En el **cuadro II** se muestran asimismo algunos valores de concentraciones críticas de zinc, usadas para diferentes cultivos realizados en varios países.

Además de los métodos indicados, existen otros como son los propuestos por el BCR, donde los extractantes son EDTA 0,05 M a pH 7,0 y CH_3COOH 0,43 M sin tamponar (Ure, 1996). Recientemente han comenzado a emplearse métodos de extracción que simulan las condiciones de la rizosfera. Así, uno de los que tiene más aceptación, es el que utiliza una mezcla de ácidos orgánicos débiles compuesta de ácido acético, láctico, cítrico, málico y fórmico, en proporción 4:2:1:1:1 (Feng et al. 2001).

Análisis de la planta: efectos de la deficiencia de zinc

La concentración de un micronutriente en la planta debe ser el adecuado, ya que si no se llega a esta concentración existi-

rá una deficiencia, lo que provocará una disminución del rendimiento y calidad del cultivo. Lo mismo sucederá si la concentración presente de micronutriente en la planta es superior a la óptima. Si se consideran los factores concentración de zinc y rendimiento o producción de la planta, se obtiene una curva como la representada en la **figura 3**, donde se observan varias zonas diferenciadas: zona de carencia, deficiencia grave, deficiencia moderada o subcarencia, normalidad y toxicidad.

LAS DEFICIENCIAS DE ZINC PUEDEN DIAGNOSTICARSE EN LA PLANTA por medio de análisis visuales pero, desgraciadamente, en muchos de los casos en que los síntomas son apreciables, la deficiencia en zinc ya ha afectado de forma significativa al cultivo, por lo que es demasiado tarde para tratarlo, lo que implica pérdidas en el rendimiento y en la calidad del mismo

El contenido de micronutriente produce el mayor rendimiento para la planta en el rango de normalidad, donde un aumento de las concentraciones aportadas no supone un aumento del rendimiento, ya que este factor no es

el factor limitante en este rango. Si siguen aumentando las concentraciones, se puede provocar la toxicidad de la planta, con el consiguiente descenso en la producción de los cultivos.

Las deficiencias de zinc pueden diagnosticarse en la planta por medio de análisis visuales pero, desgraciadamente, en muchos de los casos en que los síntomas son apreciables, la deficiencia en zinc ya ha afectado de forma significativa al cultivo, por lo que es demasiado tarde para tratarlo, lo que implica pérdidas en el rendimiento y en la calidad del mismo. Por otro lado, si el análisis visual está bien realizado, podría ser de gran ayuda para efectuar el tratamiento adecuado para las posteriores cosechas.

Los síntomas característicos de la deficiencia de zinc incluyen clorosis intervenal y brote blanco en maíz; marchitamiento, clorosis basal de las hojas y bronceado en las hojas de arroz; coloración de verde claro a blanco clorótico y vetas necróticas en hojas

Figura 3.

RELACIÓN DEL RENDIMIENTO O CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS CON LA CONCENTRACIÓN DE MICRONUTRIENTES EN EL TEJIDO DE LAS PLANTAS.

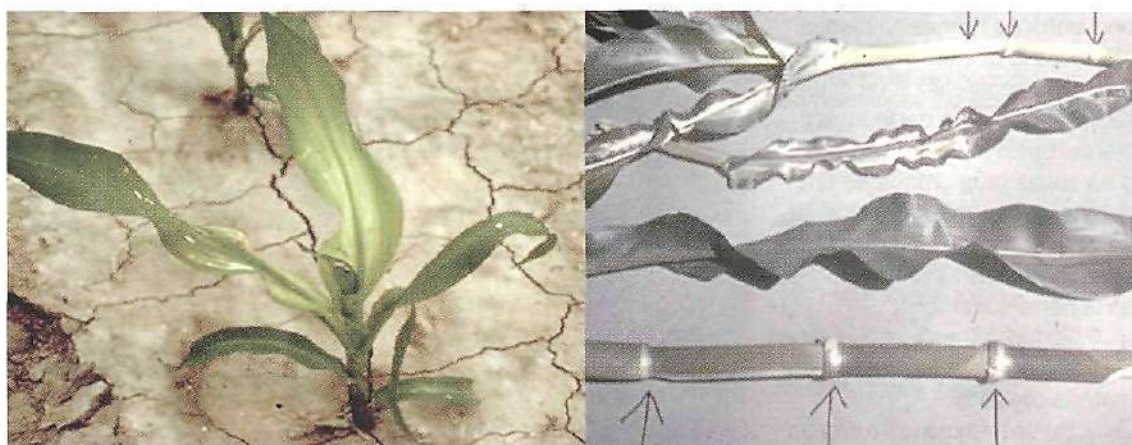


Foto 1. Síntomas de deficiencia de zinc en plantas de maíz (Rehm and Schmitt, 2002).

jóvenes del trigo; y pequeñas manchas cloróticas entre las venas de las hojas de los cítricos.

Para diagnosticar un problema de deficiencia, frecuentemente, junto con los análisis de suelo, se realiza un análisis de la hoja, o de la planta entera, sobre todo en las primeras etapas de investigación. Otros análisis, como son los del grano, se efectúan con posterioridad en etapas más avanzadas del cultivo. El análisis de la planta tiene la ventaja de que los factores que afectan la disponibilidad y captación de zinc han ejercido su efecto. Así, la concentración en las diferentes partes de la planta de muestra la cantidad de microelemento que ha sido movilizado al tejido analizado. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que las concentraciones son distintas según el tejido analizado, variando también con la etapa de crecimiento.

Además del análisis de la concentración total de micronu-

Cuadro III.

Principales compuestos inorgánicos y orgánicos usados como fertilizantes de zinc.

Compuestos	Fórmula	Conc. Zn (%)
Compuestos inorgánicos		
Sulfato de zinc monohidratado	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	36-37
Sulfato de zinc heptahidratado	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	22-23
Oxisulfato de zinc	$x\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{ZnO}$	20-50
Sulfato de zinc básico	$\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$	55
Sulfato de zinc amoniacal	$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$	10
Óxido de zinc	ZnO	50-80
Nitrato de zinc	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	23
Cloruro de zinc	ZnCl_2	50
Carbonato de zinc	ZnCO_3	50-56
Compuestos orgánicos		
EDTA de zinc disódico	Na_2ZnEDTA	8-14
EDTA de zinc sódico	NaZnEDTA	9-13
HEDTA de zinc sódico	NaZnHEDTA	6-10
Poliflavonoide de zinc	—	5-10
Lignosulfonato de zinc	—	5-8

Martens and Westermann, 1991; Mortvedt and Gilkes, 1993; Srivastava and Gupta, 1996.

triente, existen otras formas de valorar el estado nutricional de zinc en las plantas, que presentan una serie de ventajas. Así, por ejemplo, para un cultivo de ju-

día, se ha obtenido una alta correlación entre el zinc soluble en una disolución acuosa del reactivo MES (ácido morfolino 1 mM, pH 6,0) y la concentración de

zinc total (figura 4) (experimentación realizada por Álvarez et al. 2007; Departamento de Química y Análisis Agrícola, ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid; González et al. 2007).

Compuestos y dosis de zinc a aplicar

Quando se diagnostica la deficiencia de zinc es necesario corregir el problema aplicando un fertilizante que contenga el micronutriente. Los fertilizantes comercializados incluyen diferentes compuestos o fuentes de zinc, que varían considerablemente en su efectividad y coste por unidad de micronutriente. Algunas de las fuentes más habituales se muestran en el cuadro III.

En los últimos años se están comercializando nuevos fertilizantes que contienen zinc complejo o quelado, presentando en determinados casos una gran efectividad relativa con respecto a otros fertilizantes. Algunos de

Figura 4.

CONCENTRACIONES DE ZINC TOTAL Y ZINC SOLUBLE EN PLANTAS DE JUDÍA CULTIVADAS EN UN SUELO CALIZO.

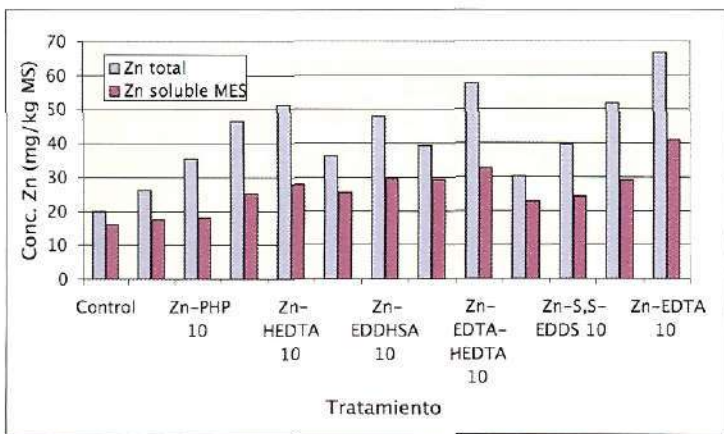


Foto 2. Deficiencia zinc en arroz. Fuente: www.spectrumanalytic.com.

los agentes complejantes o quelantes utilizados más recientemente son los siguientes: ácidos glucónicos, ácidos fenólicos, aminoácidos, polihidroxifenilcarboxilatos, DTPA, SS-EDDS y EDDHSA (Liñan, 2007). Incluso también se comercializan mezclas de éstos para aumentar su efectividad en distintos tipos de aplicaciones.

Las prácticas de aplicación varían ampliamente alrededor del

mundo, con respecto al tipo de fertilizante usado, la dosis empleada y el modo de aplicación. Los métodos usados pueden ser satisfactorios para las cosechas y los suelos locales, pero la investigación es necesaria para determinar los métodos más eficientes y rentables.

Por término medio, la dosis aplicada de los fertilizantes es de 10 kg Zn/ha, aunque esta canti-



Foto 3. Deficiencia zinc en naranjo. Fuente: www.actagro.com/index.php

dad varía de 2,5 a 34 kg Zn/ha. Algunos estudios indican que los efectos residuales del micronutriente aplicado pueden durar entre tres y veinte años, variando según la fuente de zinc aplicada.

Generalmente se reconoce que la efectividad de los fertilizantes de zinc puede estar en principio determinada por su solubilidad en agua. Varios autores han determinado que, al menos, se requiere entre 40 y 50% de solubilidad de la fuente de zinc en agua. Por ejemplo, las fuentes de zinc Zn-EDTA (100% Zn soluble), lignosulfonato de zinc (91% Zn soluble) y sulfato de zinc (98% Zn soluble) presentan una eficacia potencial muy alta para abastecer de zinc a las plantas, aunque depende notablemente de la forma de aplicación.

Así, aunque la fuente Zn-EDTA

es utilizada para la aplicación foliar en la planta con una dosis de 0,33 kg Zn/ha e, incluso, en casos severos de deficiencia se repite la aplicación, según señala Wicks (2006), el Zn puede aplicarse foliarmente en forma de Zn quelado (por ejemplo Zn-EDTA) pero no es tan eficiente o económico como el ZnSO_4 . Por tanto, en este caso la fuente de origen inorgánico podrá subsanar mejor el problema de deficiencia.

Por otro lado, en las aplicaciones foliares es importante que la dosis empleada sea la indicada para evitar una posible toxicidad en las hojas. ■

Bibliografía

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores, que pueden solicitar a través del e-mail: redaccion@eumedia.es